

Ing. Marek ŽENKA,
Ing. Kamil STANĚK
Katedra konstrukcí pozemních
staveb
ČVUT v Praze, Fakulta stavební

Pasivní administrativní budova v letním provozu (1. část: Stínění vs. přirozené denní osvětlení)

Summer Operation of Passive Administrative Building (Part 1: Shading vs. Natural Daily Lighting)

Recenzent
Ing. Miloš Lain, Ph.D.

Článek ukazuje velmi komplexní přístup při optimalizaci stínění administrativní budovy. Je prezentován návrh vhodného stínění (a jeho provozu), které zajistí jak dostatečné přirozené osvětlení bez oslnění, tak minimální tepelné zisky v letním období. Nástrojem pro tento návrh je detailní energetická bilance prostoru, spolu s detailním výpočtem přímého i nepřímého osvětlení, zpracovaná v podobě počítačového programu a doplněná o vizualizaci v programu Ecotect + Radiance. Článek je přínosný jak detailním teoretickým zpracováním problematiky osvětlení a tepelných zisků, tak jeho praktickou aplikací při reálném návrhu.

Klíčová slova: Osvětlení, tepelné zisky, venkovní žaluzie, oslnění, počítačové modelování.

Authors show a very complex access as concerns the optimization of shading the administrative building in their article. They present the proposal of suitable shading (and its operation) that shall ensure both sufficient natural lighting without any glare and minimal heat gains during the summer period. The detailed energy balance of the space makes the tool for this proposal together with the detailed calculation of the direct and indirect lighting elaborated in the form of the computer aided program and completed with the visualization in the Ecotect + Radiance program. We believe that this article shall be contributive both in the detailed elaboration of the lighting and heat gains problems, and its practical application with respect to the real proposal.

Key words: lighting, heat gains, air conditioning, sun exposure, computer aided modeling.

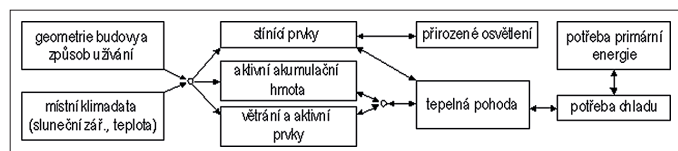
Návrh energeticky pasivní administrativní budovy z hlediska vytápění lze již považovat za technicky zvládnutý postup. Klíčovou otázkou se stává řešení možného přehřívání objektu v letním a přechodném období. V budově musí být zajištěno vyhovující vnitřní klima při současném dodržení limitu potřeby primární energie 120 kWh/m².rok. Sluneční záření se ukazuje jako rozhodující faktor, který je třeba hlídat a účinně regulovat. Jedná se sice o významný, ale současně do velké míry nepředvídatelný a nespolehlivý zdroj tepla a denního světla. Cílem regulace je zajistit optimální přirozené osvětlení při minimálních tepelných ziscích.

Problém je studován na kancelářském prostoru o podlahové ploše 32,6 m² se 6 pracovními místy při jihovýchodní fasádě ve 3. podlaží administrativní budovy v Brně (nyní ve fázi návrhu). Budova má vysoký tepelně izolační

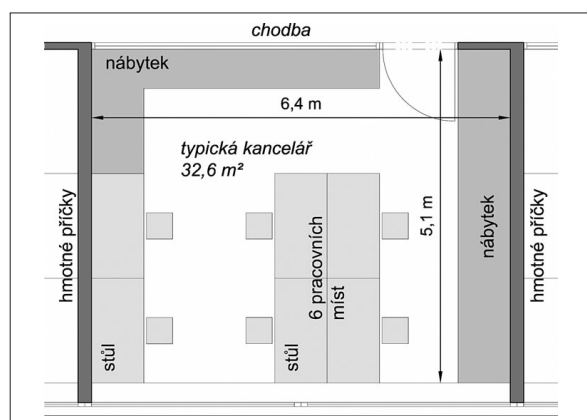
standard se středním součinitelem prostupu tepla $U_{em} = 0,21 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Úloha je zkoumána ze čtyř základních pohledů: (1) optimalizace zastínění versus přirozené osvětlení; (2) vyhodnocení vlivu aktivní akumulační hmoty; (3) strategie větrání; (4) využití systémů aktivního chlazení (body 2 až 4 budou podrobně rozebrány v samostatných navazujících článcích). Hlavní cílem návrhu je minimalizace potřeby aktivního chlazení, zajištění dostatečného přirozeného osvětlení a přijatelné vnitřní operativní teploty v letním období.

K vyhodnocení návrhových situací a variant byl v prvním kroku sestaven modelový týden. Jako základ byl použit slunný srpnový den (21. 8.), který byl sedmkrát v řadě zopakován. Sluneční záření je po celý týden uvažováno za zcela jasné oblohy pro lokalitu Brno a venkovní teplota je modelována sinusoidou s maximem posunutým na 16. hodinu.

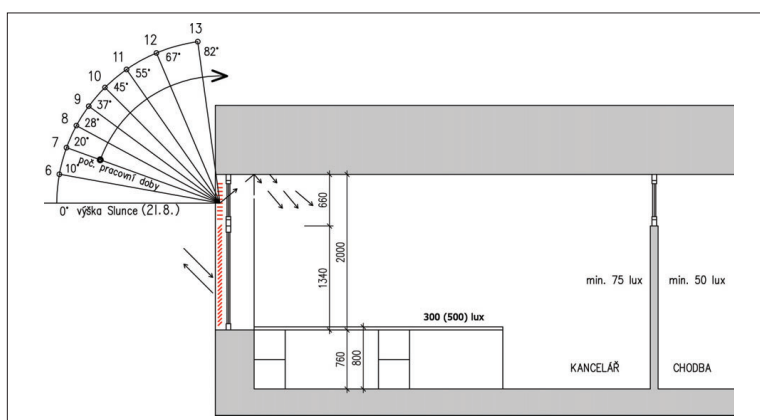
Hodnocená fasáda má jihovýchodní orientaci. Ráno na ni dopadá sluneční záření pod téměř normálovým (kolmým) úhlem, což limituje výběr zastínovacích mechanismů schopných odclonit přímou složku záření a současně umožňujících vstup alespoň části difúzního záření. Jako účinný prvek byly vybrány venkovní horizontální žaluzie. Jsou navrženy s odděle-



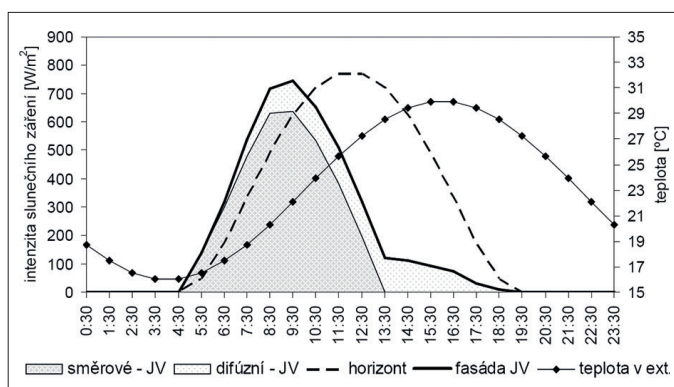
Obr. 1 Schéma a logika hodnocení pasivní administrativní budovy v letním provozu



Obr. 2 Schéma půdorysu vybrané kanceláře



Obr. 3 Schéma řezu vybrané kanceláře



Obr. 4 Data slunečního záření a venkovní teploty použité pro vytvoření modelového týdne. Stínění a přirozené osvětlení

ným ovládním horní třetiny a spodních dvou třetin lamel. Toto dělení odpovídá architektonickému dělení okenních otvorů kancelářských prostor v budově. Spodní část slouží zejména k odclonění většiny dopadajícího slunečního záření a ochraně uživatelů před oslněním, horní třetina umožňuje za použití odděleného ovládní vpustit více slunce do kanceláře v nejcennějším místě u stropu, pokud je to potřeba pro zlepšení vnitřního osvětlení. Budova je záměrně navržena s nulovým nadpražím a bez podhledů. Horizontální žaluzie navíc rozptylem na lamelách posílají difúzní světlo i s využitím odrazu od bílého stropu do hloubi místnosti.

Exteriérové vertikální žaluzie představovaly pro danou orientaci z technického hlediska možnou alternativu. Pro určité situace v roce, kdy nehrozí přehřívání vnitřního prostoru, ale je potřeba odclonit přímou složku slunečního záření, např. z důvodu oslnění, a zároveň ponechat dostatek difúzního záření pro přirozené osvětlení interiéru, je to dokonce svou konstrukcí výhodnější řešení. Nezakrývají tolik oblohové složky jako horizontální žaluzie. Tento systém ovšem nekoresponduje s navrženým dělením oken (horní okno je výklopné, spodní je neotevíraté), což může způsobovat potíže v situacích, kdy je potřeba stínit např. kolmé ranní slunce a zároveň přirozeně větrat. Bylo by složité a drahé dělit vertikální žaluzie po výšce na dvě části. Mimo jiné vertikální linie nezapadají do výrazné horizontálního architektonického členění a pojednání fasády.

Hledali jsme vhodný nástroj pro vyhodnocení stínícího efektu žaluzií. Z normativních dokumentů lze použít například [1]. Tato norma nabízí základní výpočtový postup pro kombinaci žaluzií se zasklením. Předpokládá ovšem řadu zjednodušení, která nebyla slučitelná s naší představou o podrobnosti a hlavně univerzální použitelnosti zkoumaných situací. Norma je založena na kolmém dopadu záření, nenabízí podporu pro jiné naklopení žaluzií než 45° a vždy předpokládá, že žaluzie jsou vůči slunci upevněny tak, že jimi neproniká přímé sluneční záření. Výpočet prostupu záření stínícím mechanismem nepředpokládá zohlednění úhlové závislosti zejména na propustnosti a pohltivosti na zasklení. Odrazivost a propustnost stínícího materiálu je brána jako plně difúzní.

Na druhé straně se nabízejí hotové softwarové nástroje (typu Ecotect, IES, aj.). Mezi hlavní důvody, proč jsme nakonec i od této možnosti ustoupili, patří zejména malá kontrola nad výpočtem, daná nedostatečným vysvětlením výpočtového postupu a předpokladů, spojená do značné míry i s nutností dokonalé uživatelské znalosti daného software. Hotové softwary navíc mohou uživatele značně omezovat v zadávaných nebo získávaných datech a jejich formátech. S ohledem na výše popsané problémy byl vyvinut vlastní výpočetní postup pro stínění žaluziemi.

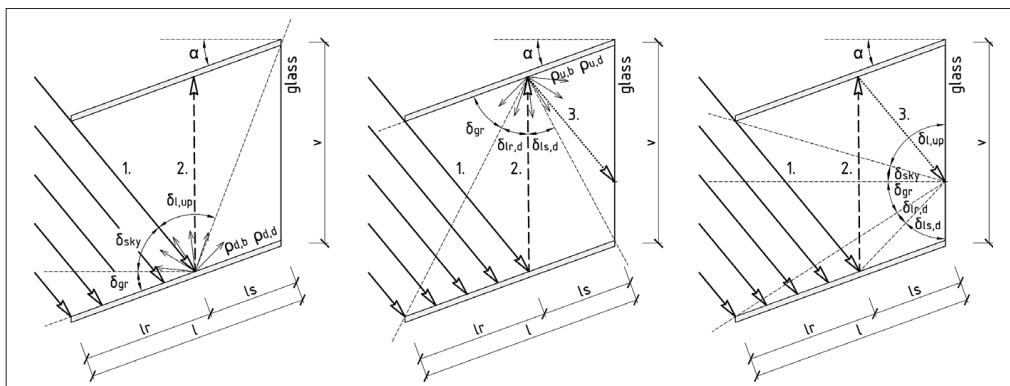
POPIS MODELU ŽALUZÍÍ

Model je založen na přepočtu a rozdělení slunečního záření podle Pereze. To znamená, že s jednotlivými složkami slunečního záření (přímá, přísluneční, isotropická difuzní, difuzní od horizontu a difuzní odražená od země) je pracováno při průchodu stínícím mechanismem odděleně. Základním vstupem je s ohledem na dostupnost dat pro různé lokality globální záření dopadající na vodorovnou rovinu. To je podle Pereze přepočítáváno pro zadaný sklon a orientaci ke světovým stranám, datum, čas a zeměpisné souřadnice lokality. Základními parametry pro definování žaluzií je jejich geometrie (délka listu, rozestup listů a úhel sklonu listů), barva (odrazivost) a spekularita povrchů (poměr difuzní a zrcadlové odrazivosti spodního a horního povrchu listu).

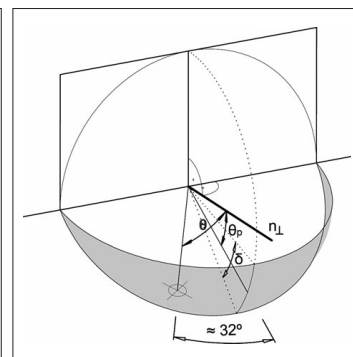
Výpočet je zjednodušen do 2D roviny kolmého svislého řezu dvou listů žaluzií a zasklení za nimi. Skutečný úhel dopadu slunečních paprsků je převeden do roviny řezu jako profilový úhel. Model sumarizuje záření dopadající na zasklení po dráze, která zahrnuje maximálně dva odrazy na žaluziích, a to jak pro směrové složky (přímá a přísluneční) tak pro difúzní složky slunečního záření.

Horní povrch spodního listu je v každém časovém kroku rozdělen na část přímo ozářenou a zastíněnou – I_r a I_s ve schématech. Difúzní záření na spodní list přichází jako odražené od země δ_{gr} , oblohové (zahrnující i složku od horizontu) δ_{sky} , odražené od spodního povrchu horního listu $\delta_{l,up}$. Na spodním povrchu horního listu je to podobné, odpadá pouze oblohová složka, kterou tento povrch „nevidí“. Odděleně je zpracováváno záření z přímo ozářené a zastíněné části spodního listu $\delta_{l,r,d}$, $\delta_{l,s,d}$. Obdobný přístup je uplatněn i pro dopad záření na zasklení (viz. obr. 5). Hodnota záření z jednotlivých výsečí δ je výpočetně doprovázena příslušným úhlem dopadu θ . Ten je nejprve vypočten jako profilový úhel θ_p ve 2D rozpůlením příslušné výseče δ , a následně je zohledněna i jeho prostorová povaha. Problém je zjednodušen představou, že se ve 3D příslušná výseč promítá na kulový povrch. Výsledný zástupný úhel dopadu θ z této oblasti lze nalézt integrací přes vybarvenou plochu (viz obr. 6). Je určen spojnicí těžiště poloviny vybarveného obrazce s posuzovaným bodem a normálou hodnotené roviny. Odklon od kolmé roviny řezu je blízký 32° ¹⁾

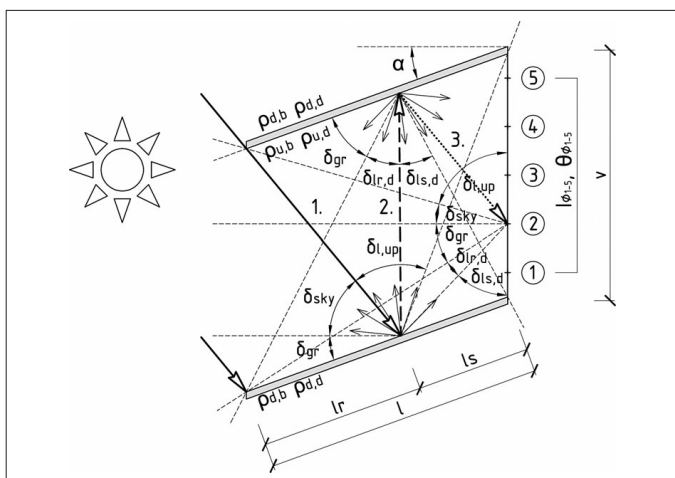
^{*)} Pokud normála n rozděluje výseč δ , řeší se stejná úloha zvlášť pro obě části výseče δ a výsledný úhel dopadu θ je pak váženým průměrem zjištěných dílčích úhlů θ .



Obr. 5 Schémata složek slunečního záření dopadajících na jednotlivé povrchy lamel žaluzií s uvažováním dvou odrazů.



Obr. 6 Schéma převedení profilového úhlu dopadu záření z 2D na 3D.



Obr. 7 Schéma výpočetního modelu prostupu slunečního záření žaluziemi.

Celý výpočet je kombinací na analyticko-numerického přístupu. Analyticky jsou zpracovány geometrické vztahy jednotlivých povrchů vůči sobě, poměry ozáření (view factors), jejich zástupné úhly dopadu záření a poloha vůči Slunci. Numerická část spočívá v rozdělení oblasti zasklení na zvolený počet n bodů (5 bodů na obr.7). Výsledné hodnoty jsou pak váženým průměrem hodnot z bodů 1 až n . Výstupem z modelu jsou hodnoty průměrného a difúzního záření a úhly, pod kterými tyto složky dopadají na zasklení.

PŘIROZENÉ OSVĚTLENÍ

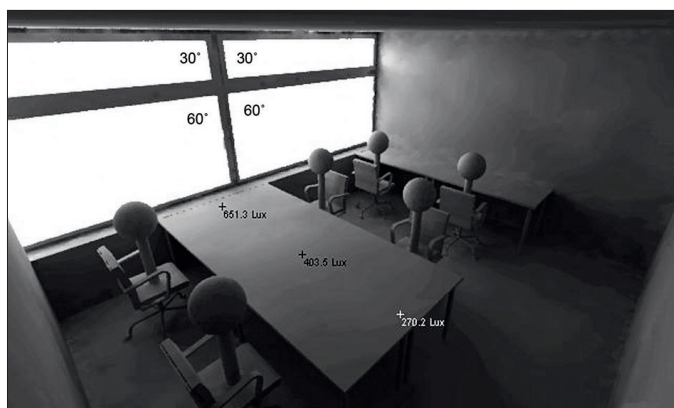
V oblasti denního osvětlení jsou kontrolovány tři hlavní parametry:

1. hodnota denní osvětlenosti na pracovní rovině je minimálně 300 lx^(*)
^(*) Pro běžnou kancelářskou práci je požadována na pracovní rovině hodnota 500 lx. Návrh kanceláře tuto hodnotu respektuje, každé pracovní místo bude vybaveno lokálním stolním svítidlem, které případně požadovanou osvětlenost krátkodobě zaručí. Z vlastní zkušenosti a provedených měření ovšem vyplývá, že pro běžnou práci s počítačem je většina uživatelů spokojená a považuje za příjemnou nižší hladinu osvětlenosti.
2. přímé sluneční záření nesmí dopadat na monitory a sedící osoby
3. v zorném úhlu 60° nesmí vznikat oslnění nebo výrazný rozdíl kontrastů

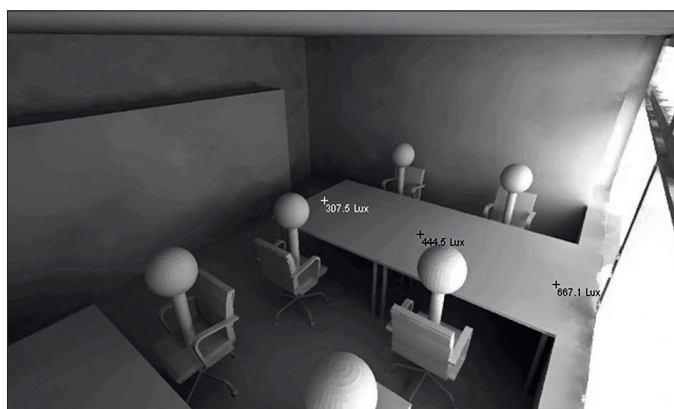
Výsledkem optimalizace pohody denního osvětlení za současně minimalizace solárních zisků jsou optimální polohy žaluzií v průběhu modelového týdne (viz tab. 1). S ohledem na regulaci je návrh provázen snahou o rozumně malý počet úhlů sklonu žaluzií (5) i jejich poloh jako takových – vytažené, stažené. Odpoledne, kdy na sledovanou fasádu již nedopadá přímé sluneční záření, je spodní část žaluzií vytažena, čímž je umožněn volný výhled do okolní zeleně. O víkendu jsou žaluzie uvažovány jako úplně zatažené z důvodů bezpečnostních a především maximální ochrany před sluncem v době, kdy probíhá regenerace (vychlazení) akumulací hmoty kanceláře.

Tab. 1 Navržená optimální poloha lamel žaluzií v hodnoceném modelovém týdnu ve stupních od vodorovné polohy (= 0°, úplně zataženo = 80°).

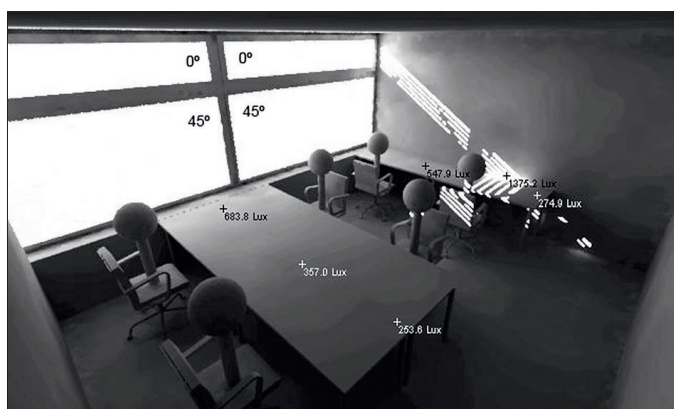
Hodina	Pracovní den		Víkend	
	horní okno	spodní okno	horní okno	spodní okno
0–4	0	80	0	80
5–7	45	80	80	80
8	30	30	80	80
9–12	30	60	80	80
13–14	0	vytaženo	80	80
15–18	vytaženo	vytaženo	80	80
19–23	0	80	0	80



Obr. 8 Hodnoty osvětlenosti – čas: 10:00, horní žaluzie: 30°, spodní žaluzie: 60°



Obr. 9 Hodnoty osvětlenosti – čas: 15:00, horní žaluzie: 0°, spodní žaluzie: vytaženy



Obr. 10 Odhalení oslnění – čas: 8:00, horní žaluzie: 0°, spodní žaluzie: 45°

K vyhodnocení poměrů osvětlení ve zkoumané kanceláři bylo použito 3D modelu, z něhož byla geometrie prostoru exportována (*.dxf) do prostředí softwaru Ecotect. Zde byly definovány materiály povrchů a optické parametry zasklení. Vlastní hladina osvětlenosti byla výpočtena softwarem Radiance, který je přímo dostupný z prostředí Ecotectu. Ukázka výstupu je na obr. 8 a 9.

Výhodou tohoto postupu je možnost detailního vyhodnocení osvětlenosti celé místnosti. Získané výsledky jsou ovšem jen ověřením jediného momentu – zadané hodiny v určitý den a pro zvolenou rozjasněnost oblohy. Dobře poslouží např. pro nalezení optima nastavení žaluzií s ohledem na míru zastínění a osvětlenosti vnitřního prostoru pro úzce a jednoznačně definovanou situaci, např. pro jeden vybraný „kritický“ týden jako v našem případě. Pomůže např. odhalit situace, kdy přímé slunce dopadá na pracovní místa a oslňuje uživatele, jako na obr. 10. Pro vyhodnocení vztažené na delší časové období není ovšem tento postup ideální volbou.

TEPELNÉ ZISKY

Vnitřní a pasivní solární zisky jsou hlavními faktory ovlivňujícími tepelnou pohodu v kanceláři. Uvažované vnitřní zisky ve výši 900 W/kancelář, tj. 0,25 kWh/(m².den) jsou závislé na režimu obsazenosti a vybavení kanceláře, lze je jen obtížně výrazněji eliminovat. Přímé sluneční zisky pro hodnocenou kancelář a variantu bez stínění dosahují v denním součtu dvojnásobné hodnoty. Aktuálně však dosahují v době největšího zatížení (8:00 až 10:00 h) téměř trojnásobku vnitřních zisků. Samozřejmě záleží i na zvoleném druhu zasklení. Ve výpočtu bylo uvažováno s trojsklem podle Tab. 2. U klasického dvojskla s přímou propustností (τ_e) okolo 0,6 by byla přímá tepelná zátěž od slunce ještě výraznější.

Tab. 2 Základní charakteristické vlastnosti oken

plocha oken (plocha zasklení)		13,2 m ² (10,0m ²)
celková propustnost sluneční energie zasklení (g, SHGC)		0,509
přímá propustnost slunečního záření (τ_e)		0,423
světelná propustnost zasklení (τ_{vis})		0,697
koeficient prostupu tepla W/(m ² .K)	zasklením	0,54
	rámy	1,00
	okna celkem	0,76

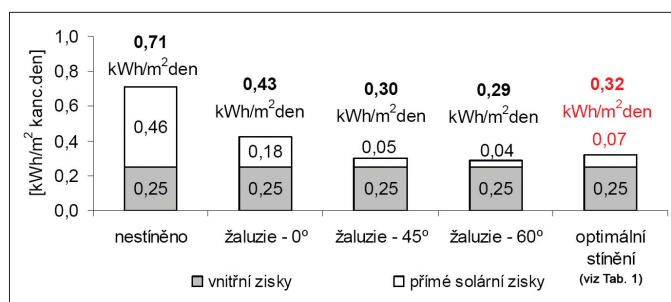
Dalším fenoménem rozhodujícím o celkové denní solární zátěži je samozřejmě orientace. Pokud bychom zkoumanou kancelář s okny podle tab. 2 otočili na jih, na okna dopadne přibližně stejné množství energie, ale díky úhlové závislosti propustnosti zasklení (slunce dopadá pod větším úhlem) bude denní solární zisk dokonce o 15 % nižší než v případě orientace na VJV (jih – 59°).

Nepřímá část solárních zisků způsobená absorpcí na zasklení a následným dlouhovlnným vyzařením do interiéru není v těchto analýzách s ohledem na měnící se okrajové podmínky v exteriéru a interiéru v průběhu dne a pro různé případy (režimy větrání, materiálové varianty vnitřních konstrukcí, atd.) uvažována. Tato složka je ovšem zahrnuta v komplexním tepelném modelu místnosti (viz příští článek).

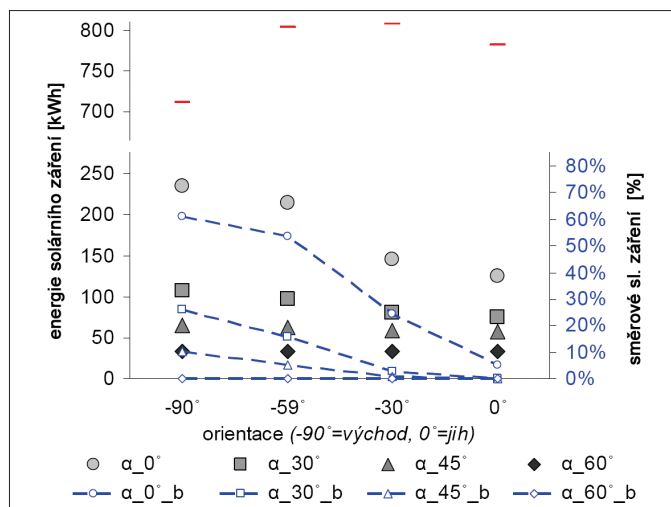
Vhodným návrhem stínících prvků lze snížit solární tepelné zisky o 85 až 90 % při současném zajištění přijatelných světelných podmínek v interiéru. Celkové tepelné zatížení je takto možné snížit až o 60 % a nepřesáhnout tak hodnotu 0,32 kWh na 1 m² podlahové plochy kanceláře za den (obr. 11).

Závislost orientace a úhlu naklonění lamel žaluzií je přibližena v obr. 12. Graf je zpracován pro období duben až září, kdy lze očekávat problémy s přehříváním, a na základě dat pro jasnou oblohu (clear sky radiation). Nelze proto absolutní čísla dopadnuté energie považovat za skutečnou zátěž, ale jsou dobře patrné závislosti a vztahy, které platí obecně. Ve zkoumaném období dopadá na svislou rovinu podobné množství energie v intervalu orientací (jih – 75°, jih + 75°). Orientace k jihu je dokonce méně zatížená než směry na JV nebo JZ. Při uvažování stínění horizontální žaluzií se z toho intervalu nejvýhodnější jeví orientace blízko jižnímu směru. Nejen že na zasklení přes žaluzie dopadne nejnižší množství energie, ale největší její podíl je tvořen difúzním slunečním zářením, což je příznivé pro vnitřní světelnou pohodu. Čím více se orientace odchyluje k východu nebo západu, narůstá při stejném sklonu žaluzií jak tepelná zátěž v absolutních číslech, tak podíl přímé složky záření vstupující do interiéru. Vyrůstá tak riziko vzniku oslnění. Je také zřejmé, že při větším úhlu sklonění lamel se rozdíly v množství prostupující energie snižují. Při sklonění na 60° se prakticky vyrovnávají. Tato pozice ale většinou již způsobuje v interiéru nedostatečnou hladinu osvětlenosti.

Graf mimo jiné potvrzuje, že jižní orientaci lze účinně zastínit i nepohyblivou markýzou umístěnou horizontálně nad oknem, zatímco východní a západní směry vyžadují spíše clonění v ploše zasklení a proto pohyblivé.



Obr. 11 Měrná denní tepelná zátěž kancelářského prostoru.



Obr. 12 Vztah orientace ke světovým stranám, dopadnuté solární energie na zasklení a úhlu naklonění žaluzií α (0°, 30°, 45°, 60°); zpracováno pro období duben – září, (červeně – energie dopadnutá na zasklení bez uvažování stínění, modře – procentuální podíl směrových složek slunečního záření)

Tato skutečnost se může výrazně podepisovat na dlouhodobé funkci zařízení i na jeho ceně, zejména uvažíme-li velké plochy zasklení na fasádách administrativních budov.

ZÁVĚR

Zabránění vzniku tepelných zisků se ukazuje jako přirozená a zároveň neefektivnější obrana proti přehřívání interiéru. Nepříjemnou skutečností v dnešních administrativních budovách je ovšem značná tepelná zátěž vznikající již vlastním provozem v budově. Vzhledem k faktu, že tuto energii nelze účinně snížit, je cestou k udržení přijatelného tepelného komfortu bez instalace strojního chlazení optimální návrh a orientace budovy. Pokud je orientace nevýhodná, přichází na řadu optimální návrh a funkce stínícího systému, který situaci ve vnitřním prostředí nebude nadále zhoršovat. Cestou ke kvalitnímu návrhu se zdá být právě optimalizace zastínění na takovou míru, kdy do interiéru projde jen minimální množství sluneční energie, které dokáže zajistit dostatečné přirození osvětlení pro daný druh pracovní činnosti.

Kontakt na autory: marek.zenka@fsv.cvut.cz, kamil.stanek@fsv.cvut.cz

Poděkování: Příspěvek vznikl při řešení výzkumných projektů MSM 6840770005 a MPO 2A–1TP1/129.

Použité zdroje:

- [1] ČSN EN 13363–1,2. Zařízení protisluneční ochrany kombinované se zasklením – Výpočet propustnosti sluneční energie a světla, únor 2008
- [2] Duffie J. A., Solar Engineering of Thermal Processes, Madison: Wiley-Interscience. 1991. second edition. 199–205s. ISBN 0–417–51056–4
- [3] Software RADIANCE, Berkeley Lab, <http://radsite.lbl.gov/radiance>.